

文章编号: 0253-2239(2006)05-0736-4

基于硅基液晶显示技术的可见光光学目标模拟器的研制

鲁法珂 李海峰 顾培夫 刘 旭

(浙江大学 现代光学仪器国家重点实验室, 杭州 310027)

摘要: 为了产生制导武器仿真系统所需的逼真的目标-背景图像,建立了基于硅基液晶显示技术的可见光光学目标模拟器。给出了模拟器图像输出的实际效果图以及光学参量的测试方法和数据。测试表明,该装置有较好的亮度、对比度和均匀性,与传统的阴极射线管显示技术相比有效减轻了图像闪烁问题,能够提供稳定的视频输出,更有利于仿真系统中对动态目标的识别,是一种较为理想的图像模拟装置。同时给出了双复眼光学系统初始结构的计算方法并推导出简单的计算公式,该算法可以应用于其他双复眼照明系统中。

关键词: 应用光学; 光学目标模拟器; 复眼透镜; 硅基液晶

中图分类号: TN94 文献标识码: A

Development of Visible-Light Optical Simulator Based on Liquid Crystal on Silicon Technology

Lu Fake Li Haifeng Gu Peifu Liu Xu

(State Key Laboratory of Modern Optical Instrumentation, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

Abstract: To offer the true to nature target-background images used in the simulation system for homing weapons, a visual-light optical target simulator based on the liquid crystal on silicon (LCOS) technology is established. The typical output images and measurement method and data of the optical parameter are presented. It is proved that the simulator has more appropriate luminance, higher contrast and better uniformity than other conventional ones. Compared with the cathode ray tube (CRT) technology, it avoids the flicker problem and offers steady video outputs, which can greatly improve the seeker's ability of capturing the goal. So the LCOS technology is an ideal choice for optical simulators. Besides, the calculation method of illumination system based on the double fly eye lens is provided and simple results are gained which can also be used in other illumination systems of projection.

Key words: applied optics; optical target simulator; fly eye lens; liquid crystal on silicon

1 引 言

可见光光学目标模拟器是制导武器开发仿真阶段的关键设备,用于建立逼真的目标—背景环境^[1]。导引头系统采集该仿真图像,图像识别电路对该图像进行分析后捕捉目标位置,产生反馈信号,实时调整武器的方位,从而实现目标追踪。光学目标模拟器通过计算机产生的图像来模拟实景,从而可以在不用实地试验的情况下验证导引头系统的有效性。

可见光制导武器仿真系统中使用的目标模拟器

要求有高分辨率、高刷新频率以及较高的对比度,同时对于输出图像光强稳定性有很高要求。目前国内的目标模拟器大致基于各种投影显示技术,如阴极射线管显示(CRT)技术、数字光处理(DLP)技术、液晶显示(LCD)技术等。阴极射线管显示技术由于采用逐行扫描或隔行扫描方式的电子束轰击荧光粉发光,所激发的光输出衰减迅速,存在严重的闪烁问题^[2],从而影响了作为图像采集器件的 CCD 对动态目标的有效识别;数字光处理技术也存在类似问题,

作者简介: 鲁法珂(1981~),男,山东新泰市人,浙江大学硕士研究生,主要从事光电显示技术的研究。

E-mail: fakelu@hotmail.com

收稿日期: 2005-06-20; 收到修改稿日期: 2005-09-15

由于数字光处理的光强调制为光脉冲方式,通过高速摄像系统获得的每帧图像中会存在亮度尖峰;薄膜晶体管-液晶显示(TFT-LCD)器件由于其亮态的电压保持特性,不会产生闪烁问题,是图像模拟器较为理想的选择,但由于薄膜晶体管-液晶显示的晶体管响应速度不高,制约了以后向高帧频方向的发展。

硅基液晶^[3](Liquid crystal on silicon, LCOS)是一种将微型液晶显示器直接制作在单晶硅片上的新型反射式液晶器件,它可以实现高分辨率、高刷新频率、高亮度、高对比度显示,并提供稳定的光输出,不存在闪烁现象和亮度尖峰。本文提出并建立了基于硅基液晶显示技术的可见光光学目标模拟器原理装置,介绍了其工作原理和理论设计方法,并给出了样机性能测试参量。实验表明,该装置能够提供仿真所需的静态或者动态图像,是一种理想的可见光光学目标仿真设备。

2 系统结构

可见光光学目标模拟器作为制导武器仿真系统中的图像源,为了能尽可能接近自然景物的光学特性,要求有较高的均匀性、对比度以及一定的光亮度。基于以上要求,目标模拟器的光学系统采用了双复眼结构,如图 1 所示。该装置采用白光钨卤素灯作光源,采用双排复眼照明系统以保证照明均匀性以及光效率,采用高消光比的偏振分束棱镜^[4,5]保证图像对比度。投影镜头把投影图像投射至无穷远。为了使目标模拟器产生的图像分辨力远高于探测器,系统采用了 1280×1024 分辨率的硅基液晶显示图像芯片。

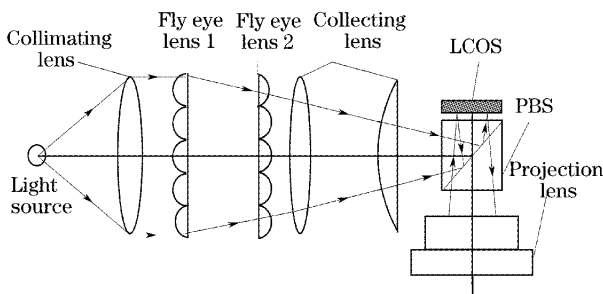


图 1 硅基液晶显示光学目标模拟器结构示意图

Fig. 1 Structure of optical target simulators based on liquid crystal on silicon

3 光学系统结构计算

复眼透镜由一系列大小相同的小透镜拼合而成,投影系统中采用双排复眼透镜可以获得很高的

光能利用率和整个视场上的均匀照明^[6,7],如图 2 所示(为了便于计算,根据光路可逆原理光线的方向标注为反方向)。钨卤素灯发出的光经准直透镜(图中未画出)准直后投射到复眼透镜 1 上,从而将一个光源形成多个光源像进行照明,复眼透镜 2 置于复眼透镜 1 的焦面上,起场镜的作用,它的每一个小透镜将第一排复眼透镜对应的小透镜重叠成像于无穷远,然后由会聚透镜(透镜 1 和透镜 2)成像于其后焦面上,会聚透镜又同时把复眼透镜 2 成像于投影物镜入瞳处(无穷远)。

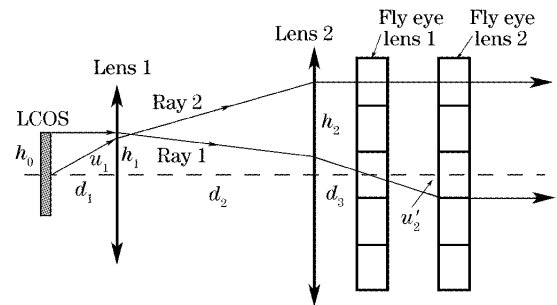


图 2 复眼透镜初始结构原理

Fig. 2 Principle of the initial structure illumination system based on fly eye lens

理论计算复眼照明系统的初始结构传统上采用光线追迹法^[7],即针对图 3 中光线 1 和光线 2 以及最边缘光线(图中未标出)分别列出其成像公式进行综合计算,但是这种方法涉及变量过多,往往计算过程复杂。为此我们对该方法进行了改进,获得了较为简洁的公式。

根据几何光学成像理论,对光线 1 有

$$\frac{1}{d_3} - \frac{1}{f'_1 - d_2} = \frac{1}{f'_2}, \quad (1)$$

对光线 2 有

$$\frac{1}{d_1} - \frac{1}{f'_2 - d_2} = \frac{1}{f'_1}, \quad (2)$$

式中 d_1 、 d_2 、 d_3 分别表示液晶板、透镜 1、透镜 2、复眼 2 依次之间的距离; f'_1 、 f'_2 分别为透镜 1 与透镜 2 的像方焦距。联立(1)式、(2)式,推导可得

$$a_2 f'_2 + b_2 f'_2 + c_2 = 0, \quad (3)$$

$$f'_1 = a_1 + b_1 f'_2, \quad (4)$$

其中

$$a_1 = (d_1 d_2 - d_2 d_3) / (d_1 + d_2 - d_3),$$

$$b_1 = (d_2 + d_3 - d_1) / (d_1 + d_2 - d_3),$$

$$a_2 = b_1,$$

$$(5)$$

$$b_2 = a_1 - b_1 d_1 - b_1 d_2 - d_1,$$

$$c_2 = d_1 d_2 - a_1 d_1 - a_1 d_2,$$

求解二元一次方程(3)即可得到透镜 2 的焦距,再根

据(4)式可得透镜1的焦距。得到两个透镜的焦距后,可以进一步计算出照明透镜1和2的口径 h_1 和 h_2 ,以及复眼透镜上光束的孔径角 u'_2 。

$$\begin{aligned} h_1 &= h_0 - (\tan u_1) d_1, \\ u'_1 &= \arctan(\tan u_1 + h_1/f_1), \\ h_2 &= h_1 - (\tan u'_1) d_2, \\ u_2 &= u'_1, \\ u'_2 &= \arctan(\tan u_2 + h_2/f_2). \end{aligned} \quad (6)$$

假设复眼小透镜的个数为 N ,则复眼小透镜的半径 $r_0 = h_2/N$,根据(7)式可以确定复眼透镜的焦距 f' :

$$f' = r_0 / \tan u'_2. \quad (7)$$

实际计算中可以通过程序设计,对于给定硅基液晶显示芯片的尺寸和照明光束数值孔径,结合对 d_1 、 d_2 、 d_3 的范围要求,自动求解出一系列照明系统的初始结构参量,根据应用场合选取合理的结果。

以上算法完全基于高斯光学原理,并未考虑像差的问题,因此求得照明系统初始结构尺寸后,还需要利用光学设计软件,如Zemax等,对照明系统的参量进一步优化,校正场曲和畸变等像差,模拟输出效果,最后确定最为理想的结构尺寸。该计算方法非常简单,对于带有反光碗的高亮度复眼照明光路的设计同样适用。

4 实验结果

4.1 输出图像测试

由于该系统主要用于远景目标的仿真,因此投影物镜并不像普通投影系统中的物镜那样成像于几米远处,而是成像于无穷远处,这给测试带来一定的难度。投影物镜采用双镜组5片透镜设计以减小各种像差。为了配合导引头的成像系统,投影镜头的出瞳置于投影镜头外。在出瞳处用接收屏可以观察到一系列排列规则的小方斑。

为了测试方便,在投影物镜前方放置一个会聚透镜,在透镜的后焦面上可以观察到各个亮斑完全重合成在一起,形成一块矩形均匀照明区域,如图3所示。该区域的光输出特性可以近似反映模拟器的光输出特性。通过测量白场时中心位置和边缘位置的光照度,即可获得照明均匀性;通过测量白场图像和暗场图像的光照度,即可获得黑白对比度。测试表明,照度均匀性90%以上,黑白对比度达到100:1。

图4是通过长焦距摄影镜头拍摄到的电脑模拟视频图像的截图,可以看出该模拟器显示效果良好。

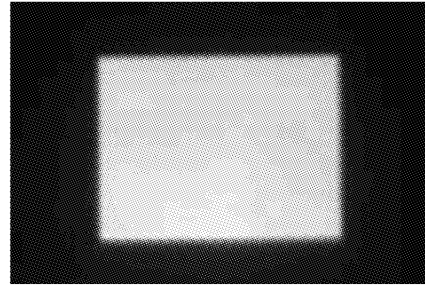


图3 会聚透镜后焦面上的矩形方斑
Fig. 3 Rectangular spot on the back focal plane of the converging lens

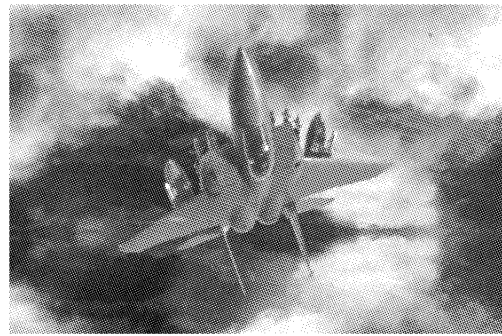


图4 长焦距摄影镜头拍摄到的截图
Fig. 4 Captured image through long-focal-length camera lens

4.2 刷新频率测试

我们建立了如图5所示的电路系统来测试显示器件的输出光强特性。光电池接收显示器件输出的光强,将光信号转化为电信号,经过电压放大电路后在示波器上显示电压波形,该波形可以直观反映出光强度的变化。该电路也可以应用于其他各种投影显示器件实际帧频的测试和验证。

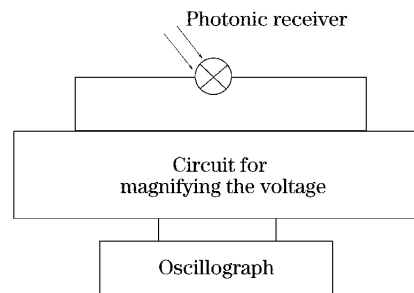


图5 刷新频率测试电路

Fig. 5 Circuit for testing the refresh frequency of the image

图6中(a)和图6(b)分别是阴极射线管显示器件和硅基液晶显示器件在输出60 Hz白场时示波器的电压输出波形。测量所得两者的刷新频率分别为60.02 Hz和60.06 Hz。同时可以看出阴极射线管显示存在严重的亮度不稳定性,即每个周期内

亮度迅速衰减,造成一个亮度尖峰,这是阴极射线管显示器件闪烁严重的原因。硅基液晶显示虽然也有衰减,但是幅度较小,能够提供亮态近似稳定的视频图像。此外,即使在 100 Hz 输出时,阴极射线管显

示器件的闪烁问题依然严重。测试表明,阴极射线管显示技术不能提供稳定的光强度输出,硅基液晶显示技术可以提供稳定的光强度输出,因此硅基液晶显示是可见光图像模拟器的理想选择。

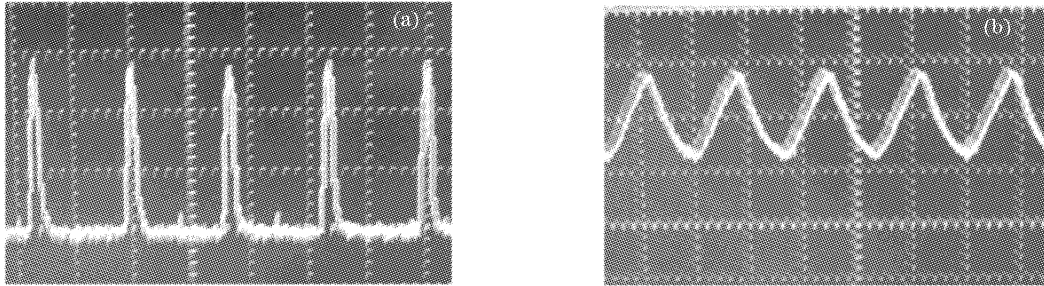


图 6 阴极射线管显示 (a)和 LCOS (b)输出光强测试结果

Fig. 6 Curve of the light intensity of CRT (a) and LCOS (b)

5 结 论

在分析武器制导仿真系统工作原理的基础上,提出了目前国内可见光光学目标模拟器的主要参量要求和存在的问题。介绍了硅基液晶显示可见光光学目标模拟器的工作原理、设计方法并进行了参量测试。实验表明,该系统各方面指标均能满足作为仿真系统中图像源的使用要求,不存在闪烁和亮度尖峰现象,可以提供逼真的目标-背景环境。本文对复眼照明系统初始结构计算方法——光线追迹法进行了推导并得出了简单结果,该结果同样可以应用于其他双复眼照明的投影系统,具有实用价值。

当然,随着仿真系统对图像源的要求越来越高,60Hz 的刷新频率可能会无法满足某些场合的需要。由于目前高刷新频率的硅基液晶显示芯片已经能够批量生产,因此为了进一步提高刷新频率,只要更换更高刷新频率的硅基液晶显示芯片即可。

参 考 文 献

- 1 Kang Weiming, Guan Yingzi, Kang Songgao *et al.*. Development of a visible-light optical target simulator[J]. *Optical Technology*, 2000, **26**(3): 281~288 (in Chinese)
康为民,关英姿,康松高等. 可见光光学目标模拟器的研制[J].

光学技术, 2000, **26**(3): 281~288

- 2 Olov Östberga, Houshang Shahnavazb, Rikard Stenberg. CRT flicker and scan-line direction[J]. *Displays*, 1987, **8**(2): 75~78
- 3 Dai Yongping, Sun Zhonglin, Wang Hongwang. Development of color liquid-crystal-on-silicon display chips[J]. *Chin. J. Liquid Crystals and Displays*, 2001, **16**(4): 300~305 (in Chinese)
代永平,孙钟林,王隆望. 彩色硅基液晶显示芯片的研制[J]. *液晶与显示*, 2001, **16**(4): 300~305
- 4 Zhou Jie, Liu Xu, Li Haifeng. Theoretical design method for improving the polarization performance of LCLV projection system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **23**(1): 63~66 (in Chinese)
周 杰,刘 许,李海峰. 改善液晶光阀投影光学系统偏振特性的理论设计方法[J]. *光学学报*, 2003, **23**(1): 63~66
- 5 Zhang Yueguang, Gu Peifu, Liu Xu *et al.*. Color-separation multilayer systems used for thin film transistor-liquid crystal display[J]. *Acta Optica Sinica*, 1999, **19**(6): 791~794 (in Chinese)
章岳光,顾培夫,刘 旭等. 薄膜晶体管液晶投影仪中的偏振分光薄膜[J]. *光学学报*, 1999, **19**(6): 791~794
- 6 Zhou Jie, Lin Yuxiang, Zhou Ping *et al.*. Method for improving the performance of wide screen projection display illumination system[J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(2): 224~227 (in Chinese)
周 杰,林宇翔,周 平等. 改进宽银幕投影显示照明系统的设计方法[J]. *光学学报*, 2005, **25**(2): 224~227
- 7 Zhou Ping, Lu Wei, Lin Yuxiang *et al.*. Fly eye lens array used in liquid crystal projection display with high light efficiency[J]. *Acta Optica Sinica*, 2003, **24**(5): 587~591 (in Chinese)
周 平,陆 巍,林宇翔等. 复眼透镜提高液晶投影照明系统的能量利用率[J]. *光学学报*, 2003, **24**(5): 587~591